

Semina ☐ Nr 12
Scientiarum 2013

s. 34–48

Marek Jakubiec

Problem osobliwości początkowej jako geneza poszukiwania kwantowych teorii powstania wszechświata¹

Aż do początku XX wieku kosmologia pozostawała jedynie zbiorem filozoficznych spekulacji pozbawionych waloru naukowości. Wydaje się, że początki nowożytnej fizyki – odkrycia Isaaca Newtona, Johanna Keplera czy obserwacje Galileusza należy zakwalifikować jako milowe kroki w rozwoju astronomii. Tymczasem kosmologia, dyscyplina traktująca o wszechświecie (jako całości)², ciągle pozostawała nauką pozbawioną bazy empirycznej. Rozważania dotyczące początku wszechświata były postrzegane przez niektórych fizyków jako spekulacje czysto filozoficzne, a nawet mistyczne³. Przyczyn takiego stanu rzeczy upatrywać można w wielu faktach – takich jak brak w pełni wiarygodnych obserwacji kosmologicznych czy nierozwiązany istotny problem warunków brzegowych⁴.

¹ Niniejszy artykuł oparty jest częściowo na fragmentach mojej pracy magisterskiej *Model Hartle'a – Hawkinga jako propozycja kwantowego wyjaśnienia początku Wszechświata. Wybrane aspekty filozoficzne i metodologiczne*, którą obroniłem w 2012 roku na Wydziale Filozoficznym Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie.

² Zob. M. Heller, *Filozofia kosmologii*, Kraków 2013, s. 5.

³ Zauważa to np. S. Hawking (choć nie może on być uważany za eksperta w dziedzinie historii nauki, to niektóre jego spostrzeżenia wydają się trafne), zob. S. Hawking, R. Penrose, *Natura czasu i przestrzeni*, tłum. P. Amsterdamski, Poznań 1996, s. 83.

⁴ Tamże.

Swoistym paradygmatem „prakosmologii” było więc unikanie dyskusji na temat genezy wszechświata z powodu braku jakichkolwiek danych doświadczalnych. Właściwym założeniem było jednak przyjęcie statycznej natury wszechświata, a tym samym jego odwieczności (trudno zaakceptować wizję permanentnie niezmiennego wszechświata, który rozpoczął swe istnienie w określonej chwili). Naukowe refleksje dotyczące jego początku i ewolucji były w związku z tym aż do XX wieku fikcją. Natomiast od chwili, gdy kosmologia stała się pełnoprawną nauką, zaczęły się pojawiać zagadnienia niezwykle trudne do rozwikłania, do tej pory zarezerwowane w sporej części dla filozofów⁵. Nie sposób było je dłużej określać mianem pseudoproblemów. Najważniejszym z nich jest kwestia tzw. osobliwości początkowej. Ściśle rzecz ujmując, dotyczy ona ogólnej teorii względności, jednak bez wątpienia wywiera wpływ na całą dyscyplinę. Łączy się z nią także wiele pytań natury filozoficznej, które nie utraciły swej aktualności. W niniejszym artykule postaram się krótko przedstawić genezę tego zagadnienia, pewne aspekty jednej z wielu propozycji rozwiązania wspomnianego problemu, a przede wszystkim jego znaczenie dla poszukiwania kwantowych teorii powstania wszechświata. W porównaniu z samym problemem osobliwości, który został już szeroko opracowany w literaturze, zagadnienie jego znaczenia dla powstania kwantowych teorii początku wszechświata znane jest bowiem dość słabo.

1. Geneza problemu osobliwości

Albert Einstein w 1905 roku doprowadził do naukowej rewolucji, publikując w artykule *O elektrodynamice ciał w ruchu* wyniki swych badań nad szczególną teorią względności⁶. Niedługo potem okazało się, że jest to jedynie swoiste preludium. W 1915 roku, po de-

⁵ Pytanie o początek i sens świata należą wszak do kanonu problemów filozoficznych.

⁶ Zob. A. Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, „Annalen der Physik”, 1905, 17, s. 891–921.

kadzie intensywnej pracy, przedstawił teorię, która jeszcze bardziej niż jej poprzedniczka zmieniła naukową wizję świata. Jednym z odkryć ogólnej teorii względności, bo o niej mowa, było wskazanie, że materia wywiera wpływ na kształt czasoprzestrzeni. Innymi słowy, okazało się, że pole grawitacyjne jest *de facto* tożsame z krzywizną czasoprzestrzeni. Ta zaskakująca zależność stała się podstawą „kosmologii relatywistycznej”, a więc pierwszej *stricte* naukowej kosmologii. Świadczy o tym fakt, że datą uważaną za moment narodzin tej dyscypliny jest 8 lutego 1917 roku, kiedy to Einstein przedstawił swoje odkrycie na posiedzeniu Akademii Nauk w Berlinie⁷.

Przy zastosowaniu teorii Einsteina do opisu wszechświata pojawiają się jednak istotne problemy. Chcąc orzekać cokolwiek o nim jako o całości, trzeba zmierzyć się bowiem z zagadnieniem tzw. warunków brzegowych. Są to pewne założenia, które wskazują, jak określona wielkość zachowuje się w nieskończoności przestrzennej⁸. Zrozumiawszy wagę tego problemu, Einstein uznał, że najlepszym jego rozwiązaniem będzie przyjęcie takiego modelu, w którym owa nieskończoność znika, a więc modelu wszechświata zamkniętego. Zgodnie z nim przestrzeń jest „zamknięta”, a tym samym skończona. Szybko okazało się, jak bardzo pozorne było to rozwiązanie. Równania pola grawitacyjnego nie potwierdzały bowiem tezy, zgodnie z którą wszechświat nie rozszerza się, a więc że jest zamknięty i statyczny⁹.

Istotną rolę w zmianie wizji wszechświata odegrał rosyjski kosmolog, Aleksander Friedman. Już w swojej pierwszej pracy, *O krzywiznie przestrzeni*¹⁰, przyjął on rewolucyjne jak na swe czasy założenie, zgodnie z którym krzywizna czasoprzestrzeni może zmieniać się wraz z upływem czasu. Oznaczało to dopuszczenie rozszerzania lub kurczenia się wszechświata¹¹, który, w opinii Friedmana, swym kształtem przypominać miał powierzchnię kuli. W połączeniu z za-

⁷ M. Heller, *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, Kraków 1985, s. 16.

⁸ Tak definiuje je M. Heller (zob. tenże, *Kosmologia kwantowa*, Warszawa 2001, s. 43).

⁹ M. Heller, *Ewolucja...*, dz. cyt., s. 20.

¹⁰ A. Friedman, *Über die Krümmung des Raumes*, „Zeitschrift für Physik”, 1922, 10 (1), s. 377–386.

¹¹ E. Rybka, *Astronomia ogólna*, Warszawa 1983, s. 511.

łożeniem dynamicznej natury wszechświata, rekonstruując jego historię, dochodzimy zatem do momentu, gdy cała przestrzeń i materia były „ściśnięte” do punktu o niezwykle niewielkich rozmiarach, nazywanego osobliwością początkową. Miała ona charakteryzować się m.in. następującymi cechami:

- zerowy promień,
- nieskończona gęstość,
- nieskończona krzywizna przestrzenna.

W związku z tym żadna istniejąca teoria fizyczna nie jest w stanie opisać tak enigmatycznego „punktu” czy „stanu”¹². Okazało się, że „poniżej” poziomu Plancka (ok. 10^{-43} sekundy) każda znana nam teoria fizyczna załamuje się, ze względu na wymienione cechy. Osobliwość jest więc obiektem, którego nie jesteśmy w stanie opisać za pomocą teorii naukowych, którymi dysponujemy.

Ten fakt od początku wywoływał wśród fizyków liczne kontrowersje. Nie bez przyczyny John Wheeler miał nazwać występowanie osobliwości „największym kryzysem fizyki naszych czasów”¹³. Jednym z niewielu kosmologów, którzy skłaniali się do uznania osobliwości początkowej za naturalny porządek świata, był belgijski kosmolog Georges Lemaître. W 1931 roku opublikował tzw. hipotezę pierwszego (pierwotnego) atomu¹⁴. Tymczasem fizyk, któremu zawdzięczamy powstanie szczególnej i ogólnej teorii względności, Albert Einstein, pozostając wiernym wizji statycznego wszechświata, uznawał, że po-

¹² Oba określenia umieściłem w cudzysłowach ze względu na nieadekwatność użytych słów do opisu osobliwości.

¹³ Zob. M. Heller, *Osobliwy Wszechświat*, Warszawa 1991, s. 163.

¹⁴ Pojęcie „pierwotny atom” należy rozumieć zgodnie z greckim znaczeniem słowa *ἄτομος*, które oznacza „niepodzielny”. Koncepcja ta zakładała bowiem istnienie prostego punktu, będącego osobliwością początkową. Niezwykle ciekawy jest sposób rozumowania Lemaître’a, który doprowadził go do postawienia tej hipotezy. Uznając mianowicie, że w stanie równowagi termodynamicznej entropia jest proporcjonalna do liczby kwantów energii, a drugie prawo termodynamiki wymaga ciągłego wzrostu liczby kwantów w czasie, doszedł on do wniosku, że gdy cofamy się w naszej wyobraźni w przeszłość wszechświata, musimy dojść do takiego stanu, w którym cała jego energia była skupiona w tak małej liczbie kwantów, jak to możliwe, a nawet w jednym kwancie, będącym pierwotnym atomem (zob. G. Lemaître, *The promaeval atom hypothesis and the problem of the clusters of galaxies* [w:] *La structure et l'évolution de l'univers. Rapports et discussions*, Bruksela 1958, s. 1–25).

jawienie się hipotezy osobliwości jest skutkiem nadmiernego uproszczenia modeli kosmologicznych¹⁵. Podjął on pierwszą, choć jeszcze nie do końca świadomą, próbę usunięcia osobliwości z kosmologii, w czasie gdy pojęcie osobliwości nie było jeszcze znane¹⁶. Powodowany przekonaniem o statycznej naturze kosmosu, zdecydował się wprowadzić do swoich równań pola człon ze stałą kosmologiczną λ ¹⁷. Niebawem jednak wspomniany już Friedmann udowodnił, że brak osobliwości wśród uzyskanych rozwiązań (w których pod uwagę brano ową stałą) nie stanowi reguły. Wręcz przeciwnie, okazało się, że istnienie osobliwości częściej staje się koniecznym postulatem.

Stawało się coraz bardziej jasne, że idea podsunęta przez Lemaître'a była niezwykle istotna. Wykazał on, że w klasie modeli anizotropowych¹⁸ osobliwość pojawia się częściej niż w modelach izotropowych. Einstein poniósł kolejną klęskę; obliczenia Lemaîtrea rzeczywiście wskazywały na możliwość problemu, jaki wywołuje zasada kosmologiczna. Był on jednak inny, niż sądził twórca OTW (jak zostało to już wskazane, uważał on, że postulat osobliwości jest wynikiem przyjęcia tej zasady); belgijski kosmolog wykazał bowiem, że osobliwość pojawia się także przy jej odrzuceniu.

2. Twierdzenie o osobliwościach

Kluczowym wydarzeniem w historii pojęcia „osobliwość” było udowodnienie twierdzenia o istnieniu osobliwości. Dokonali tego dwaj, słynni dzisiaj, przedstawiciele nauki: Roger Penrose oraz Stephen Hawking¹⁹. Warto krótko zaprezentować ich dowód, choć

¹⁵ Einsteinowi chodziło zwłaszcza o tzw. zasadę kosmologiczną, która stwierdzała, że wszechświat jest jednorodny i izotropowy (por. M. Heller, *Filozofia i Wszechświat*, Kraków 2008, s. 450).

¹⁶ Zob. M. Heller, *Filozofia kosmologii*, dz. cyt., s. 95.

¹⁷ Później Einstein miał określić to jako największy błąd swojego życia (szerzej na temat tej i innych stałych kosmologicznych piszą M. Szydłowski i P. Tambor w artykule *Albert Einstein i stała kosmologiczna*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, 2008, nr 53, s. 343–361).

¹⁸ Słowa tego używa się na określenie modeli, w których są kierunki wyróżnione.

¹⁹ M. Heller, *Kosmologia kwantowa*, dz. cyt., s. 98–99.

by z racji faktu, że najważniejszym dążeniem drugiego z autorów stało się z czasem usunięcie osobliwości z teorii kosmologicznych.

Penrose w 1965 roku użył kryterium tzw. geodezyjnej niezupełności do wykazania, że kolaps grawitacyjny, a więc zapadnięcie się całej materii pod wpływem jej siły grawitacji, musi doprowadzić do osobliwości (pod warunkiem spełnienia pewnych naturalnych warunków). Jego badania dotyczyły przede wszystkim osobliwości powstających w wyniku ewolucji masywnych gwiazd. Hawking, wkrótce po zapoznaniu się z twierdzeniem Penrose'a²⁰, zdał sobie sprawę, że jeżeli „odwróci się” w nim kierunek upływu czasu, to zapadanie zostanie zmienione w ekspansję. Co istotne, zasadnicze założenia twierdzenia pozostaną spełnione, jeżeli wszechświat jest podobny do modelu Friedmana²¹. Ponieważ, zgodnie z wizją Penrose'a, zapadające się ciało musi zakończyć swą ewolucję na osobliwości, to po odwróceniu kierunku upływającego czasu okaże się, że rozszerzający się wszechświat musi, analogicznie, rozpocząć się od osobliwości²². Ostatecznym wynikiem prac podejmowanych przez obu naukowców było wykazanie w 1970 roku, że osobliwość typu Wielkiego Wybuchu musiała mieć miejsce²³.

Warunki przedstawionego twierdzenia są niezwykle ogólne, co pozwala przypuszczać, że powinny zostać spełnione w każdym, podobnym do naszego, wszechświecie (oczywiście pojawia się pytanie o sensowność takiego stwierdzenia, ale w tym miejscu pozwolę sobie

²⁰ Dokładniej pisze o tym twierdzeniu Hawking w *Krótkiej historii czasu*: „Penrose udowodnił, że zapadająca się pod działaniem własnego pola grawitacyjnego gwiazda jest uwięziona w obszarze, którego powierzchnia maleje do zera, a zatem znika również objętość tego obszaru. Cała materia gwiazdy zostaje ściśnięta w obszarze o zerowej objętości, a więc gęstość materii i krzywizna czasoprzestrzeni stają się nieskończone. Innymi słowy, pojawia się osobliwość w obszarze czasoprzestrzeni zwanym czarną dziurą”. (S. Hawking, *Krótką historią czasu*, tłum. S. Amsterdamski, Poznań 2000, s. 57).

²¹ Najważniejszym jego założeniem było stwierdzenie, że ewolucja wszechświata rozpoczyna się stanem, którego nie potrafią opisać dotychczasowe teorie fizyczne oraz że wartość stałej kosmologicznej wynosi 0.

²² S. Hawking, *Krótką historią...*, dz. cyt., s. 57–58.

²³ W celu zapoznania się ze szczegółami, także formalnymi, dotyczącymi dowodu, odsyłam do: S. Hawking, R. Penrose, *The singularities of gravitational collapse and cosmology*, [w:] „Proceedings Royal Society”, 1970, A 314, s. 529–548.

je pominąć²⁴). Sednem dowodu jest stwierdzenie, że czasoprzestrzeń nie może równocześnie charakteryzować się kilkoma cechami: chro-
nologicznością, która oznacza nieposiadanie zamkniętych krzywych
czasopodobnych, zawieraniem zbioru złapanego (przyszłościowo
bądź przeszłościowo), a także posiadaniem nieprzedłużalnych geo-
detyk przyczynowych²⁵. Niesie to ze sobą poważne konsekwencje.
Trzeci z przedstawionych warunków to następstwo przyjęcia kilku
założeń: warunku przyczynowej zbieżności, typowości oraz zerowej
i czasopodobnej geodezyjnej zupełności czasoprzestrzeni²⁶. Kluczowy
jest fakt, że ostatnie założenie jest niezgodne z przedstawionymi wa-
runkami. To umożliwiło Hawkingowi i Penrose'owi sformułowanie
twierdzenia, uznawanego za najmocniejsze ze wszystkich²⁷ twier-
dzeń, których autorzy dążyli do wykazania istnienia osobliwości.

Z twierdzenia o osobliwościach wynika, że mamy do czynienia
z nimi m.in. w dwóch przypadkach. Mogą one, po pierwsze, powsta-
wać w wyniku zapadania się masywnych gwiazd (lub innych ciał).
Po drugie, istnieje osobliwość w przeszłości, która stanowiła począ-
tek ekspansji znanego nam wszechświata²⁸. Twierdzenie ciągle bu-
dzi wiele wątpliwości²⁹. Fakt, iż teza o istnieniu osobliwości stała
się jednym z podstawowych założeń kosmologii, nie oznacza bynaj-
mniej rozwiązania zagadki początku wszechświata³⁰.

3. Ewolucja bez osobliwości, czyli kwantowy początek

Epistemologiczna granica, z którą spotykamy się podczas prób
opisu osobliwości początkowej, stanowi jedną z największych trud-

²⁴ Owo pytanie łączy się z zagadnieniem tzw. *multiverse*, czyli hipotezy, zgod-
nie z którą istnieje nie jeden wszechświat, lecz ich pewna liczba (zob. np. M. Teg-
mark, *The multiverse hierarchy*, [w:] *Universe or multiverse?*, red. B. Carr, Cambrid-
ge 2007, s. 99–125).

²⁵ M. Heller, *Osobliwy Wszechświat*, dz. cyt., s. 239.

²⁶ Tamże.

²⁷ Tamże, s. 240.

²⁸ S. Hawking, R. Penrose, *Natura czasu...*, dz. cyt., s. 35.

²⁹ Por. M. Heller, *Osobliwy Wszechświat*, dz. cyt., s. 15–16.

³⁰ Zob. również: G. Ellis, S. Hawking, *The large scale structure of space-time*,
Cambridge 1973.

ności kosmologii i nauki w ogóle. Stąd poszukiwanie teorii powstania wszechświata, z uwzględnieniem zjawisk natury kwantowej, wpisuje się w zasadniczy nurt współczesnej fizyki. Wiąże się ono z próbami odnalezienia alternatywnego modelu powstania i ewolucji wszechświata przy wykorzystaniu odkryć mechaniki kwantowej. Dołączenie tej teorii do ogólnej teorii względności ma dać nową, „lepszą” kosmologię. W ten sposób powstaje nurt zwany kosmologią kwantową.

Teoretyczne poszukiwania nie ustają już od kilkudziesięciu lat. Istotny wkład wniósł w nie Hawking. Od chwili udowodnienia twierdzenia o osobliwościach, drogi jego i Penrose’a rozeszły się. Głównym celem pierwszego z nich stało się usunięcie osobliwości z kosmologii. Autor najważniejszego twierdzenia, z którego wynika przyjęcie konieczności istnienia osobliwości, stał się jego największym wrogiem. Swoją opinię na ten temat w zdecydowany sposób wyraził podczas słynnej debaty z Rogerem Penrosem, która odbyła się w 1994 roku i ukazała się drukiem w publikacji pt. *Natura czasu i przestrzeni*:

Sytuacja [kosmologii – przyp. M.J.] uległa pogorszeniu po tym, jak Roger i ja udowodniliśmy twierdzenia o osobliwościach. Wynika z nich, że zgodnie z ogólną teorią względności nasza przeszłość zawiera osobliwość. W takim punkcie nie można sformułować równań pola. Wobec tego ogólna teoria względności przewiduje swój upadek: teoria pozwala przewidzieć, że nie uda się na jej podstawie przewidzieć wszechświata. Wielu zaaprobowało ten wynik, mnie jednak zawsze bardzo niepokoił. Jeśli prawa fizyki mogły się załamać w momencie powstania wszechświata, to czemu nie w każdej innej chwili?³¹

W ostatnich latach zrodziło się wiele kwantowych teorii powstania wszechświata, a kilka zasługuje na uznanie, choć oczywiście nie sposób uznać żadnej z nich za ostateczne wyjaśnienie zagadki początku kosmosu. Profesor Marek Szydłowski wymienia wśród najistotniejszych koncepcji wiodącego nurtu poszukiwań grawitacji kwantowej, a tym samym kwantowej kosmologii, koncepcję kauzalnych triangulacji Ambjorna, Lool i Jurkiewicza, pętlową teorię

³¹ S. Hawking, R. Penrose, *Natura czasu...*, dz. cyt., s. 83–84.

grawitacji, a także model Hartle’a – Hawkinga³². Poniżej zaprezentowane zostaną wybrane aspekty propozycji Jamesa Hartle’a i Stephena Hawkinga. Stworzony przez nich model był bowiem jednym z pierwszych, opartych na stosunkowo silnych podstawach matematycznych, który nie przewidywał istnienia osobliwości³³. Z pewnością nie stanowi on koncepcji reprezentatywnej dla badań prowadzonych w celu sformułowania kwantowego wyjaśnienia początku wszechświata, jest jednak przykładem dobrze ilustrującym problemy, z jakimi mierzy się współczesna fizyka, poszukująca koherentnej teorii opisującej kosmos.

4. Wszechświat bez początku

Ta niezwykle oryginalna, ale i kontrowersyjna propozycja, została w 1983 roku przedstawiona przez Hawkinga (wspólnie z Hartlem) w artykule *The wave function of the universe*³⁴. Wywarła ona niemały wpływ na dalsze poszukiwania kwantowej teorii wszechświata. Poniżej przedstawione zostaną jedynie wybrane tezy autorów, które często jednak są życzeniową interpretacją ich modelu „wszechświata bez brzegów”.

Najważniejszym celem, przyświecającym Hawkingowi i Hartle’owi, było oczywiście zaproponowanie teorii, która umożliwiłaby wyjaśnienie powstania wszechświata bez odwoływania się do pojęcia osobliwości. W tym celu autorzy wykorzystali metodę całkowania po drogach Richarda Feynmana³⁵. Kluczowe było zatem sprawdzenie, czy możliwe jest przejście ze stanu nieistniejącego, do stanu, w którym wszechświat istnieje. Jak łatwo przewidzieć, wiązały się z tym liczne problemy, bezpośrednio dotyczące rdzenia kon-

³² M. Szydłowski, *Program badawczy kosmologii kwantowej*, s. 8. Dokument znajduje się na stronie: www.kul.pl/files/57/working_papers/szydlowski_2007.pdf (30.06.2013).

³³ Tamże.

³⁴ S. Hawking, J. Hartle, *The wave function of the universe*, [w:] „Physical Review D”, 1983, s. 2960–2975.

³⁵ Tamże, s. 2960. Szerzej o tej metodzie – zob. poniżej.

cepcji „kwantowej autokreacji” wszechświata. Już najstarsze filozoficzne rozważania zawierały istniejącą w umyśle chyba każdego człowieka intuicję, podpowiadającą, że z niczego nie może powstać coś – zgodnie ze sformułowaniem *ex nihilo nihil fit*.

Według założeń modelu, wszechświat spontanicznie pojawił się z niczego, a jego kwantowe „stworzenie” polegało na przejściu ze stanu braku istnienia do stanu istnienia. Swojej pracy, ogłoszonej w 1983 roku, opisującej koncepcję powstania wszechświata, Hartle i Hawking nadali tytuł *Funkcja falowa wszechświata*³⁶. Jak łatwo z niego wywnioskować, fizycy posłużyli się metodą stosowaną w mechanice kwantowej. Stawiało to wiarygodność ich modelu pod znakiem zapytania, stanowiło bowiem arbitralne włączenie teorii kwantowej do opisu początku wszechświata, co nie miało podstaw, poza ogólnym przekonaniem, że badając go, najprawdopodobniej uwzględniać należy efekty kwantowe. Jeszcze większe zdziwienie budzi fakt użycia jednego z kluczowych pojęć mechaniki kwantowej, jakim jest funkcja falowa, do opisu tak wyjątkowego obiektu, jakim jest wszechświat. Z drugiej strony jednak, w historii nauki często można zaobserwować niezwykle zjawisko, jakim jest używanie tych samych matematycznych modeli zjawisk, w dziedzinach badających całkowicie różne elementy rzeczywistości, co może stanowić dla autorów pewne usprawiedliwienie. W propozycji Hartle’a i Hawkinga stan kwantowy wszechświata jest opisywany przez funkcję falową. Oznacza to przyjęcie założenia, że znane nam równania mechaniki kwantowej mogą być ekstrapolowane na cały wszechświat. W koncepcji tej wszechświat został potraktowany jako specyficzny obiekt kwantowy. Obliczenie wartości funkcji falowej (utożsamionej z propagatorem – wielkością pozwalającą określić prawdopodobieństwo przejścia ze stanu X do stanu Y) umożliwia, zdaniem autorów, wyliczenie prawdopodobieństwa przejścia wszechświata ze stanu nieistniejącego do istniejącego, a więc „stworzenia go z niczego”. Jest to jednak tylko i wyłącznie ich interpretacja³⁷.

³⁶ J. Hartle, S. Hawking, *The wave function...*, dz. cyt.

³⁷ Podobnie: M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia...*, dz. cyt., s. 97.

Warto nieco przybliżyć przyjętą przez twórców modelu metodę. Metoda Feynmana służy do obliczania prawdopodobieństwa przejścia układu kwantowego ze stanu X do stanu Y. Aby to uczynić, po uprzednim ustaleniu wszelkich dróg w przestrzeni konfiguracyjnej, prowadzących od jednego stanu do drugiego, wzdłuż nich należy obliczyć całkę³⁸, która następnie zostaje do każdej z nich przyporządkowana. W ten sposób powstaje funkcja określona na wszystkich możliwych drogach ze stanu X do Y, która bezpośrednio wiąże się z prawdopodobieństwem przejścia układu ze stanu X do Y³⁹. Jest to metoda niezwykle użyteczna w teoriach pól kwantowych⁴⁰. Problematiczne są jednak próby przeniesienia jej do rozważań, powiązanych z ogólną teorią względności. Mimo to Hartle i Hawking postanowili taką próbę podjąć.

Uznali oni, że stanem wszechświata jest zbiór zdarzeń, które zachodzą w nim w określonym momencie (geometria trójwymiarowa w chwili czasu⁴¹). Przejście z jednego stanu (X) do innego (Y) daje się więc obrazowo opisać jako powstanie, jak to obrazowo określił Heller, „tuby czasoprzestrzennej”⁴². Aby obliczyć prawdopodobieństwo przejścia wszechświata z jednego stanu do drugiego, należy postąpić analogicznie, jak w przypadku obliczania wspomnianego prawdopodobieństwa przejścia układu kwantowego ze stanu X do stanu Y. Droga „pomiędzy” nimi jest swoistym zbiorem trójwymiarowych przestrzeni. Mamy więc do czynienia, używając wspomnianego już określenia Hellera, z „tubą”, której stany, początkowy i końcowy, to stany X i Y. W tym momencie należy, analogicznie do przedstawionego procesu dokonywanego w mechanice kwantowej, rozważyć wszystkie możliwości przejścia ze stanu X do Y (a więc wszystkie możliwe „tuby czasoprzestrzenne”) i wyliczyć prawdopodobieństwo przejścia. Tak postąpili Hartle i Hawking.

³⁸ M. Heller, *Kosmologia kwantowa*, dz. cyt., s. 72.

³⁹ M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia...*, dz. cyt., s. 93.

⁴⁰ R. Penrose, *Droga do rzeczywistości*, tłum. J. Przystawa, Warszawa 2006, s. 738.

⁴¹ Tamże.

⁴² M. Heller, *Ostateczne wyjaśnienia...*, dz. cyt., s. 94.

Skąd jednak wtedy swój początek mogłyby wziąć zdarzenia, prowadzące do stanu Y? Nieuchronny wydawał się powrót do pojęcia osobliwości⁴³. Hartle i Hawking zrozumieli jednak, że zasadniczy problem tkwi w czasowym elemencie czasoprzestrzeni (tworzonej przez wymiar czasowy oraz trzy wymiary przestrzenne⁴⁴). Przyjmuje się, iż w czasoprzestrzeni OTW, opisywanej metryką Lorentza, kwadrat współrzędnej czasowej ma znak przeciwny w stosunku do współrzędnych opisujących przestrzeń⁴⁵. Hartle i Hawking zastosowali więc tzw. obrót (transformację) Wicka⁴⁶. Jest to użyteczne narzędzie w kwantowej teorii pola⁴⁷. Jego użycie spowodowało, że współrzędna czasowa t została „obrócona” do postaci $t' = ti$, gdzie „ i ” oznacza jednostkę urojoną⁴⁸. W ten sposób różnica znaku między współrzędnymi znikła.

Transformacja Wicka jest narzędziem matematycznym, technicznym sposobem zmiany sygnatury metryki z lorentzowskiej na euklidesową. Jej zadaniem, w omawianym modelu kosmologicznym, jest usunięcie osobliwości początkowej. Okazuje się, że można „gładko zasklepić” czasoprzestrzenie w feynmanowskiej sumie trajektorii wszechświata. Dzięki temu problem warunków początkowych ulega usunięciu⁴⁹. Zmianie ulega bowiem natura wymiaru czasowego, który przestaje odróżniać się od trzech wymiarów przestrzennych – staje się czasem urojonym. Hawking nadał *ex post* fizyczną interpretację wykonanemu przez siebie zabiegowi matematycznemu⁵⁰, uznając, że

⁴³ M. Heller, *Kosmologia kwantowa*, dz. cyt., s. 74.

⁴⁴ Taką liczbę wymiarów przyjmuje większość koncepcji klasycznych, wywodzących się z ogólnej teorii względności. Warto jednak zauważyć, że w świetle niektórych teorii, których celem jest unifikacja OTW oraz mechaniki kwantowej, takich jak teoria strun, liczba wymiarów przestrzennych jest większa i wynosi 10 lub 11 (w przypadku tzw. M-teorii).

⁴⁵ Innymi słowy, geometria czasoprzestrzeni jest lorentzowska, a nie riemannowska.

⁴⁶ J. Hartle, S. Hawking, *The wave function of the universe*, dz. cyt., s. 2961.

⁴⁷ S. Hawking, R. Penrose, *Natura czasu i przestrzeni*, dz. cyt., s. 136.

⁴⁸ R. Penrose, *Droga do rzeczywistości*, dz. cyt., s. 738.

⁴⁹ W. Grygiel, *Wspaniały projekt – Boga czy człowieka*. Dokument znajduje się na stronie: <http://urania.pta.edu.pl/zasoby/wspanialy-projekt-boga-czy-czlowieka.html> (30.06.2013).

⁵⁰ Hawking mógłby sprzeciwić się takiemu stwierdzeniu, w związku z głoszonym przez niego stanowiskiem w kwestii ontologicznego statusu teorii fizycznych,

poniżej „progu Plancka” czas stanowił swoisty dodatkowy wymiar przestrzenny⁵¹. Ma to kluczowe znaczenie dla rozwiązania kwestii osobliwości w ramach omawianego modelu, początek wszechświata okazuje się bowiem w ramach modelu aczasowy.

Ów początek można określić zatem jako swoiste „bezczasowe stwarzanie”⁵². Była to kreacja wszechświata z niczego, będąca konsekwencją kwantowo-grawitacyjnych praw. W miejsce osobliwego punktu czasoprzestrzeni otrzymujemy „superpozycję kwantową”⁵³, która pretenduje do miana rozwiązania jednego z największych zagadnień współczesnej nauki.

5. Podsumowanie

Koncepcja Hartle’a i Hawkinga bywa często nazywana modelem wszechświata bez brzegów, ponieważ, poprzez przyjęcie omawianych założeń oraz płynących z nich konsekwencji, znika pytanie o warunki początkowe (jeżeli nie możemy mówić o czasowym początku wszechświata, bezzasadne byłoby ich poszukiwanie). Zgodnie z założeniami modelu, wszechświat spontanicznie pojawił się z niczego, a jego kwantowe stworzenie polegało na przejściu ze stanu braku istnienia do stanu istnienia. Jest to stwierdzenie niezwykle kontrowersyjne. Hawking opisał je w *Wielkim Projekcie*⁵⁴, w której to publikacji prawa kwantowo-grawitacyjne uznał za w zupełności wystarczającą „przyczynę” powstania wszechświata⁵⁵. Pojawia się jednak zasadnicze pytanie: jakie jest źródło tych praw? W rzeczywistości kwestia warunków początkowych powraca, tyle tylko, że w bardziej subtelnej formie.

które określa jako „realizm zależny od modelu”. Wydaje się jednak, że nie jest on konsekwentny w stosowaniu wynikających z niego zasad, stąd zdanie to jawi się jako uzasadnione.

⁵¹ S. Hawking, *Krótką historia...*, dz. cyt. 136.

⁵² M. Heller, *Kosmologia kwantowa*, dz. cyt., s. 75.

⁵³ R. Penrose, *Droga do rzeczywistości*, dz. cyt., s. 739.

⁵⁴ S. Hawking, L. Młodinow, *Wielki Projekt*, tłum. J. Włodarczyk, Warszawa, 2011.

⁵⁵ Zob. tamże, s. 165.

Pomimo doniosłości przedstawionej przez Hartle'a i Hawkinga propozycji, nie sposób uznać jej za ostateczne rozwikłanie problemu osobliwości, choć sam Hawking zapewne chciałby widzieć ją w takiej roli⁵⁶. Model z 1983 roku można wszak określić jako *toy model*, a zastosowane zabiegi matematyczne i ich fizyczna interpretacja nie dają należytej rękojmi do wysuwania tak dalekich wniosków.

Na zakończenie tego krótkiego artykułu warto pokusić się o uwagę natury czysto filozoficznej. Prace Hawkinga ujawniają mianowicie, że pomimo iż współczesna fizyka pozwala nam coraz lepiej rozumieć otaczający nas świat, daleka jest od odnalezienia spójnej „teorii wszystkiego” i tym samym odpowiedzi na wiele kluczowych pytań, mających *par excellance* wydźwięk filozoficzny. Wydaje się więc, że pogłoski o śmierci filozofii⁵⁷ są wysoce przesadzone.

Bibliografia

1. Einstein A., *Zur Elektrodynamik bewegter Koerper*, „Annalen der Physik“, 1905, 17, s. 891–921.
2. Ellis G., Hawking S., *The large scale structure of space-time*, Cambridge, Cambridge, 1973.
3. Friedman A., *Über die Krümmung des Raumes*, „Zeitschrift für Physik“, 1922, 10 (1), s. 377–386.
4. Grygiel W., *Wspaniały projekt – Boga czy człowieka*. Dokument dostępny na stronie: <http://urania.pta.edu.pl/zasoby/wspanialy-projekt-boga-czy-czlowieka.html> (30.06.2013).
5. Hawking S., Hartle J., *The wave function of the universe*, [w:] “Physical Review D”, 1983, s. 2960–2975.
6. Hawking S., *Krótki historia czasu*, tłum. S. Amsterdamski, Poznań 2000.
7. Hawking S., Mlodinow L., *Wielki Projekt*, tłum. J. Włodarczyk, Warszawa, 2011.

⁵⁶ Uznaje on np. swoją koncepcję za pewne *novum*, gdyż, jak twierdzi: „usuwa [ona – przyp. aut.] wielowiekowe zastrzeżenia wobec stwierdzenia, że wszechświat miał początek, ale nie wiąże się z nią również wymóg, by początek wszechświata podlegał prawom natury, co nie pozostawia miejsca na ingerencję jakiegokolwiek bóstwa”; tamże, s. 165.

⁵⁷ Tamże, s. 9.

8. Hawking S., Penrose R., *Natura czasu i przestrzeni*, tłum. P. Amsterdamski, Poznań 1996.
9. Hawking S., Penrose R., *The singularities of gravitational collapse and cosmology*, [w:] "Proceedings Royal Society", 1970, A 314, s. 529–548.
10. Heller M., *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, Kraków 1985.
11. Heller M., *Filozofia kosmologii*, Kraków 2013.
12. Heller M., *Kosmologia kwantowa*, Warszawa 2001.
13. Heller M., *Osobliwy Wszechświat*, Warszawa 1991.
14. Lemaitre G., *The promaeval atom hypothesis and the problem of the clusters of galaxies* [w:] *La structure et l'évolution de l'univers. Rapports et discussions*, Bruksela 1958, s. 1–25.
15. Penrose R., *Droga do rzeczywistości*, tłum. J. Przystawa, Warszawa 2006.
16. Rybka E., *Astronomia ogólna*, Warszawa 1983.
17. Szydlowski M., *Program badawczy kosmologii kwantowej*, s. 8. Dokument dostępny na stronie: www.kul.pl/files/57/working_papers/szydlowski_2007.pdf (30.06.2013).
18. Tegmark M., *The multiverse hierarchy*, [w:] *Universe or multiverse?*, red. B. Carr, Cambridge 2007.

The problem of singularity as a genesis of search of quantum theories of the beginning of the universe

This paper puts forward the problem of singularity – one of the most important issues in contemporary cosmology. Firstly, the history of “singularity” concept and basis of Penrose’s and Hawking’s theorem of singularity are discussed. Secondly, the problem of singularity is presented as a genesis of search of quantum theories of the beginning of the Universe, in which the concept of singularity is not present. One sophisticated concept of Hartle and Hawking is presented, in particular the authors’ methodology is described. The paper shows many possible philosophical problems which are connected with quantum cosmology.

Keywords

singularity, quantum cosmology, Hartle – Hawking model, philosophy of cosmology, Stephen Hawking, Georges Lemaitre